

光電管センサを用いた陸上短距離走のタイム計測器の制作

萩 尾 耕太郎¹⁾ 中 野 裕 史²⁾ 田 村 孝 洋²⁾

Trial Manufacture of Track & Field Timing Equipment with Photoelectric Sensors

Kohtaroh Hagio¹⁾ Hiroshi Nakano²⁾ Takahiro Tamura²⁾

(2018年11月22日受理)

I. はじめに

走ることは単なる移動手段というだけにとどまらず、健康の保持増進のためや趣味としてのランニングにみられるように、日常生活に根付いた活動といえる。走る能力は体力レベル評価の指標とされ、平成11年度の体力・運動能力調査から導入された「新体力テスト」においても採用されている。

学校教育においても「走る」ことは多くの場面でみられ、特に体育の授業において「陸上競技」として取り入れられている。陸上競技は、『走る』『跳ぶ』『投げる』などの運動で構成され、記録に挑戦したり、相手と競争したりする楽しさや喜びを味わうことのできる運動』である。特に短距離走は小学校低学年から高等学校までの体育授業において教材として取扱われている。

学校現場における短距離走の走タイムの計測（計時）は、ストップウォッチによる手動計測であることがほとんどのようである。ストップウォッチによる手動計測では、反応時間遅延による計測誤差が出ることが指摘されている。また測定者間で計時のばらつきが起るために、複数名での計測が望ましいとされる。大きな計測誤差は、授業内での学習者の学習成果について正しい評価ができなくなる危険性や、パフォーマンスに対する適切なフィードバックを阻害する危険性がある。さらに手動計測では、スターター、計時係、記録係といった1人の走者の1回の計測に対し複数の計測者が必要となる。学習者の活動量の確保のためには、計測者として頻りに時間的拘束を受けることは望ましくない。そこで、より正確で必要人員の少ない計測機器を使用することが検討されるが、一般に陸上競技の競技会等で用いられている写真判定システムによる全自動計時、トランスポンダーシステムによる計時は費用面や、維持管理の難しさか

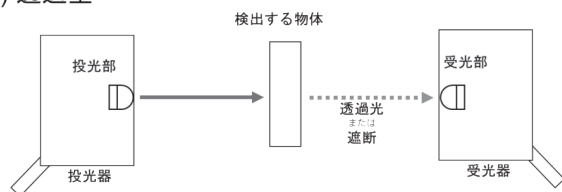
ら、学校現場での導入はみられない。その他に、光学式の計測方法として、光電センサを使用する方法があるが、流通している既成の光電センサ式計測器は高額（1セット数万～10数万円）なために、こちらも導入が難しい現状があるようだ。しかしながら、近年は電子部品やセンサが安価で安定供給をされるようになったために、機能を絞った簡素な仕組みにすることで、部品数とその総額を数分の一に抑えることが可能である。また市販の電子パーツを使い簡素なつくりにすることで、電子工作の経験の少ない者でも作成し使用できるようになる。そこで本報告では、著者のおこなった光電センサを用いた走タイム計測器の作成の取り組みについて紹介する。

II. タイム計測器の概要

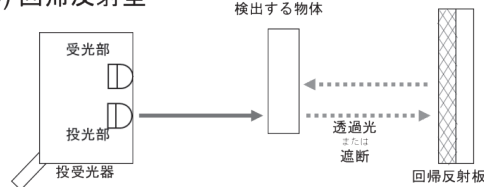
先述のように、手動計測よりも正確で、計測人員が少なく済むようなタイム計測のためには、光電センサの採用が検討される。この光電センサは投光部と受光部から構成されていて、投光部から出した光を受光部で受け取る。このとき、投光された光が遮蔽物にあたることで遮断または反射すると、受光部が受け取る光が変化する。この変化を検出し電気信号に変換することで、物体の通過の検知や、表面の凹凸の検出が可能である。物体の通過を検知する光電センサは、その投光と受光の方式の違いから、主に透過型、回帰反射型、散反射型の3種類に分類される（図1）。

今回はこの中から回帰反射型の光電センサを採用した。回帰反射型は投光部と受光部が一体になっており、その投受光器と回帰反射板（ミラー板）の間の光を検出物体が遮ったことを検出することができる。この回帰反射型は配線の必要なセンサが1つであり、短距離走の走

(A) 透過型



(B) 回帰反射型



(C) 拡散反射型

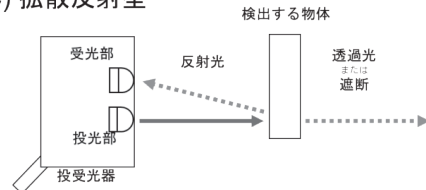


図1 物体通過を検知する光電センサの検出方法による分類

路を横断するような配線が不要であることが安全面での利点である。また、必要な配線・設置作業が比較的単純で自作の機器に組み込みやすいことも採用理由である。センサ方式の特性上、1 走行路（走者 1 人）につきタイム計測器 1 台で計測をおこなう。計測者については、合図でのスタートであればスターター 1 人で計測が可能である。走行者のタイミングによる自由スタートの場合には、スタートとゴールの 2 か所に計測器を設置することで、計測者を必要とせず計時することが可能である。

III. タイム計測器の作成

通過検知のセンサ BOX には、市販されている回帰反射型の光電センサ (E3Z-R61, OMRON, Kyoto, Japan) を、回帰反射板には同じく市販の反射板 (E39-R1, OMRON, Kyoto, Japan) を使用した。センサ部に付帯するタイム計測の計時機構には、電気配線した市販のストップウォッチを使用した。図 2 は作成した計測器（センサ部と回帰反射板）の外観である。

図 3 にはセンサ BOX についての回路図を示す。光電センサ (PS) とストップウォッチ (SW) の内部の回路についての詳細は記載していない。

図 4 はセンサ BOX の内部の配線について示す。整備性を考慮して、配線はできるだけ簡素にした。電源として単三電池 10 本を使用し、筐体を開閉せずに電源の入り切りを操作できるように外面に電源スイッチを取り付けた。

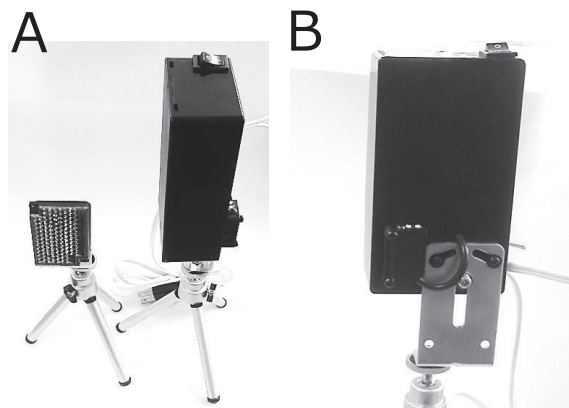
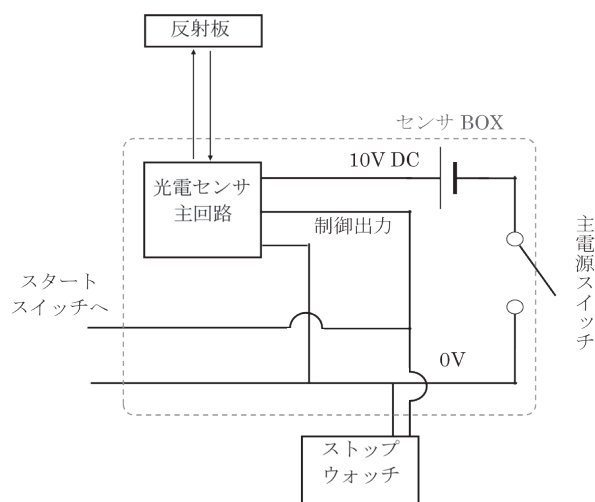
図2 作成した計測器（センサ部と回帰反射板）の外観
センサ部前面と回帰反射板 (A), センサ部側面 (B)

図3 計測器のセンサ部の回路図

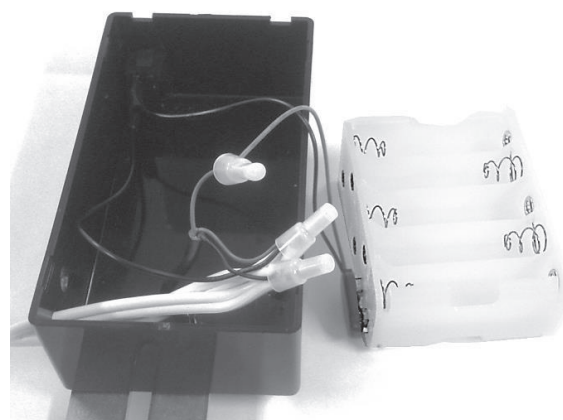


図4 BOX の内部の配線



図5 作成したスイッチ

スタート時にスターターがストップウォッチを始動させるために使用した。

図5はスタート時にストップウォッチを始動させるためのスイッチである。ボタンを押している間だけON状態になるモーメンタリ方式の押しボタンスイッチの両極に配線し、持ち手を付けた。このスタートスイッチとタイム計測器の間の接続のために、平型プラグ（ベター小型）を取り付けた。これにより、機器の接続のために専用のコードを準備する必要がなく、市販のドラム型の電気コードで代用できるようになるため、費用面と汎用性で利点が大きいと考えた。

IV. 使用評価

今回作成したタイム計測器について、誤作動の有無と使用感を確認するために、走り抜けの測定をおこなった。10mの走行路のスタートとゴール地点にタイム計測器を設置（高さ1.2mにセンサ部を設定）し、成人男性2名を走者として、2つの条件で各50回、計100回の走行タイムの測定をおこなった。学校現場での使用を

想定したとき、児童生徒の体力レベルにばらつきによる走速度の違いがあり、その違いによって検知精度が変わる可能性も考えられたため、遅いランニングと速いランニングの2条件とした。計測した区間内平均速度は、遅いランニングで 4.08 ± 0.35 m/s、速いランニングで 5.87 ± 0.62 m/sであった。センサ通過時に、胴体での検知のほか腕などでも複数回検知してしまったものを二重計測、通過したにも関わらずセンサが反応しなかったものを無検知とした。100回の計測のうち、二重計測は5回（遅：4回、速：1回）、無検知が1回（速：1回）であった。ゴール通過時のセンサ検知の様子について図6に示す。

計測の結果、二重計測と無検知を含めた誤作動は全体の6%であった。このうち二重計測は、今回作成した計測器に限らず、光電センサを利用したタイム計測器全体の課題といえる。センサ部の高さやセンサと回帰反射板の距離を調整することで改善できると考えられる。無検知は100回に1回起こったが、これは光電センサ自体の精度、配線部の要因、環境の要因（日光の反射など）の問題が考えられるが、今回は特定に至らなかった。

V. スプリット・ラップ計測への応用

ここまで作成したタイム計測器は、単体での使用（スタートスイッチによるスタート）、または2台での使用（スタートとゴールに計測器を設置）を想定した設計となっている。短距離走は主に加速局面、最大スピード局面、スピード維持局面の3つの局面に分けられる（Schiffer, 2009）。この局面ごとの疾走速度を計測することは、競技者にとって有益な情報となるだけでなく、学校現場では、学習者の課題を明らかにできるため、教育的意義も大きい。そこで、計測器3台以上を接続してのスプリット（・ラップ）計測をおこなえるように、計測器を改変することを検討した。次にその概要につい

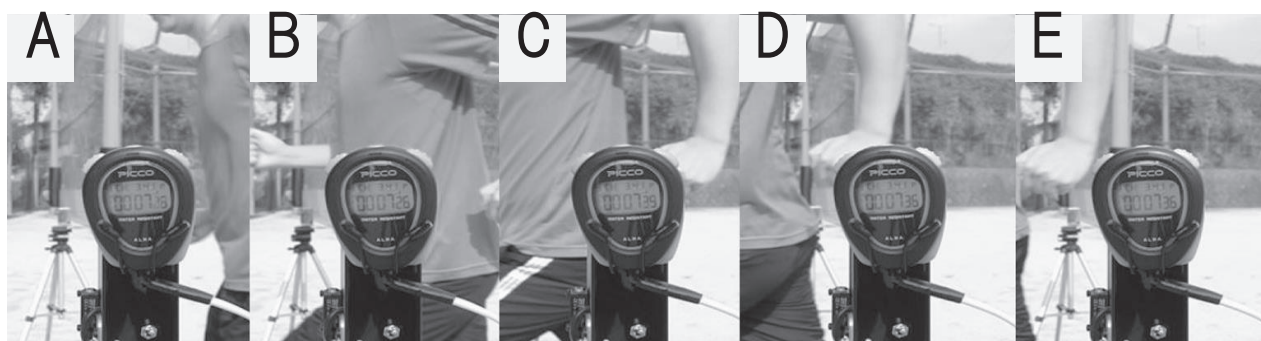


図6 ゴール通過時のセンサ検知の様子

通過前(A,B)には計時(ストップウォッチ)が動作しているが、通過時(C)と通過後(D,E)では止まっていることから正確に検知していることが確認された。※撮影にはハイスピードカメラ(500fps)を使用。数値が残像のように見えるのはストップウォッチのディスプレイの時間解像度によるものと考えられる。

で紹介する。

図7にはスプリット計測機能を付帯させるためのセンサ部の回路図を示す。単一計測とスプリット計測のモード切り替えのために、分岐スイッチを取り付け、スプリット測定モード側の分岐には、スタートシグナルが入る配線部分にダイオードを結線した。これにより、各計測器を通過した時の電気信号が、誤って別の計測器に付随したストップウォッチに流れないようにした。

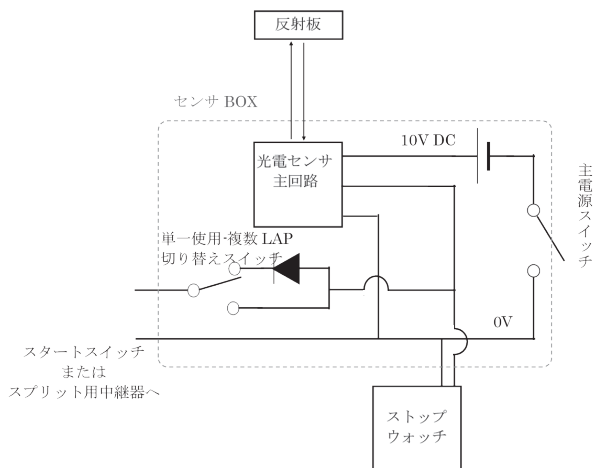


図7 計測器のセンサ部の回路図
スプリット計測用の切り替えスイッチを取り付けた。

このままでもスプリット計測をおこなうことは可能であるが、これでは各計測器に付随したストップウォッチの数値を、それぞれの場所で読み取らなければならないため、時間的・人力的な負担が大きい。そこですべての計測器の信号を1つのストップウォッチで集約するための機構を採用する必要があった。そこで、スプリット計測用の中継器を別途作成し、そこにスプリット・ラップ計測機能を持つ市販のストップウォッチを結線することとした。図8には中継器の回路図を示す。各機器の結線時に電極の向きが重要になるため、図7の★印（写真では白いシールを貼付）の端子と図8の★印の端子を同極になるよう結線する。

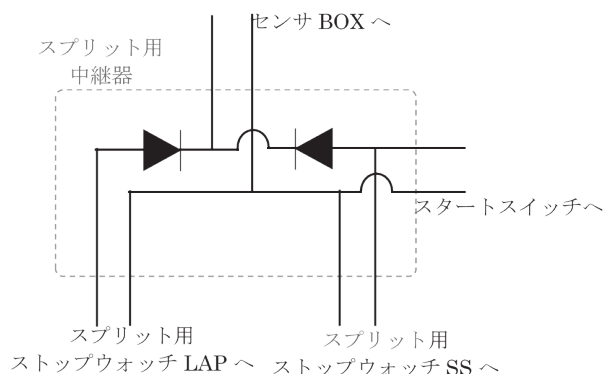


図8 スプリット計測用の中継器の回路図

さらに複数スプリット計測機能付きのストップウォッチ1つによって一連の計測をおこなうためには、そのスプリット用ストップウォッチとの結線では極の向きを調整する必要がある。まずスタートスイッチを押して電流が流れる（計時がスタートする）ようにストップウォッチのスタートストップ（図8のSS）ボタンの極を合わせて接続（はんだ付け）する。次にスタートスイッチを押して電流が流れない（計時のスプリットがストップしない）ようにストップウォッチのラップ（図8のLAP）ボタンに極を合わせて接続する必要がある。

VI. おわりに

今回、光電センサを用いた走タイム計測器を作成した。これまでの手動計時では人間的な制約や、測定者間の測定誤差の問題があった。また現在流通する計測器では費用面などの問題で、学校・指導現場へ導入することが難しいという課題がある。作成した計測器では、測定者1名でも計測が可能であり、費用も1台当たり1万円以下で作成することができた。また簡素な仕組みであるため製作についてのハードルが低いことも学校現場への普及には利点であると考えられる。また、試行でも誤作動が100回中6回程度であることが確認できた。そのため、学校・指導現場において問題なく使用が可能だと考えられるが、これらの誤作動の低減が今後の課題である。さらに、陸上競技会などで使用されゴールドスタンダードとされているタイム計測機器との同時計測をおこない、計時の誤差について十分に検証したい。

【参考文献】

- 日本陸上競技連盟：陸上競技ルールブック2018, ベースボール・マガジン社, 2018
Schiffer, J: The Sprints. New Stud. Athl., 24: 7-17, 2009